

Surfaces micro/nano-structurées appliquées au solaire concentré

Mathieu Langlais et Philippe Ben-Abdallah

Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, Palaiseau, France

pba@institutoptique.fr



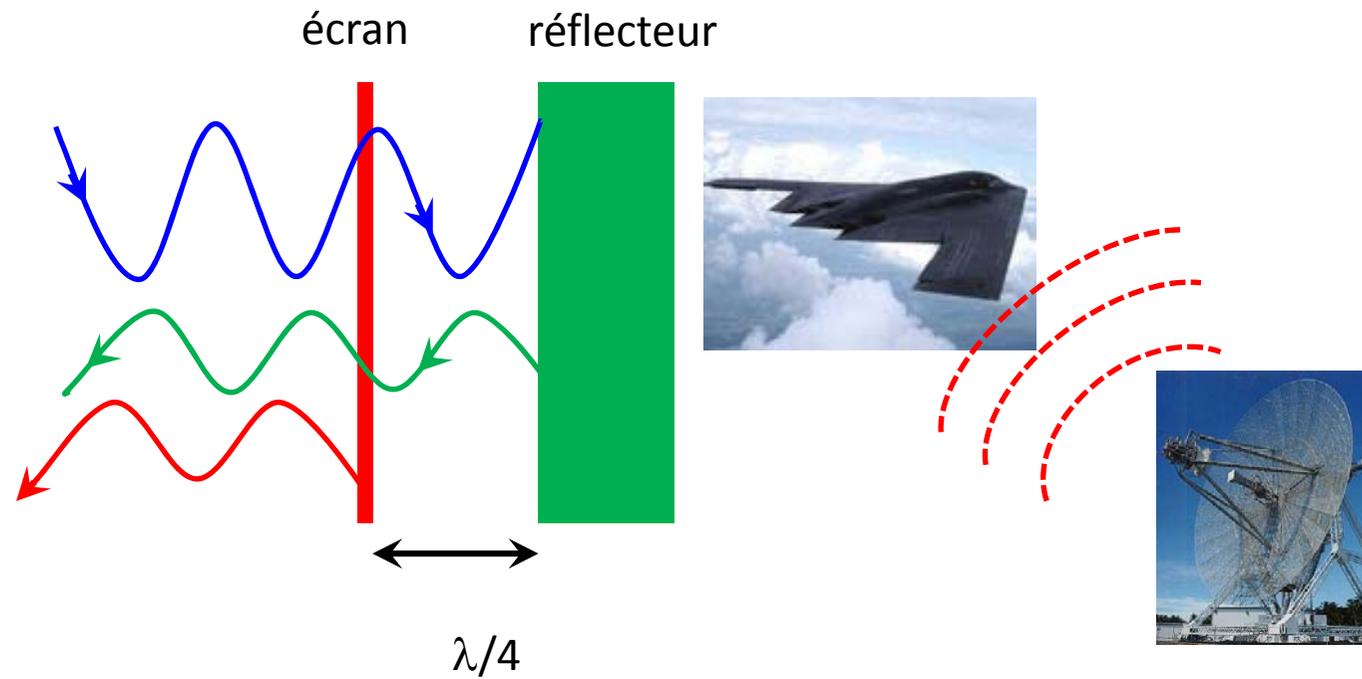
“Rayonnement solaire concentré, Paris 13 juin 2012”



Plan

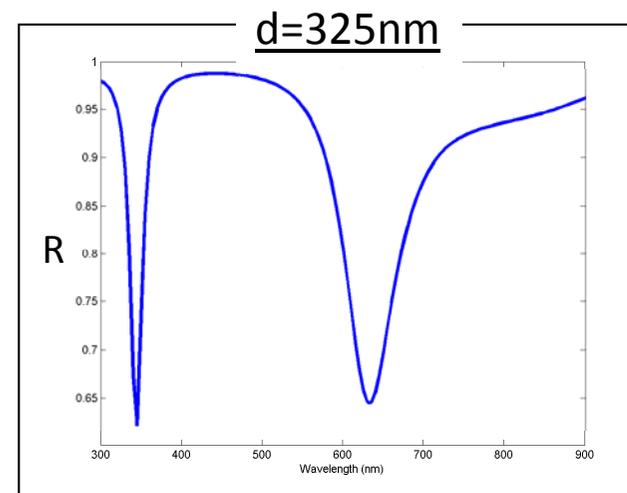
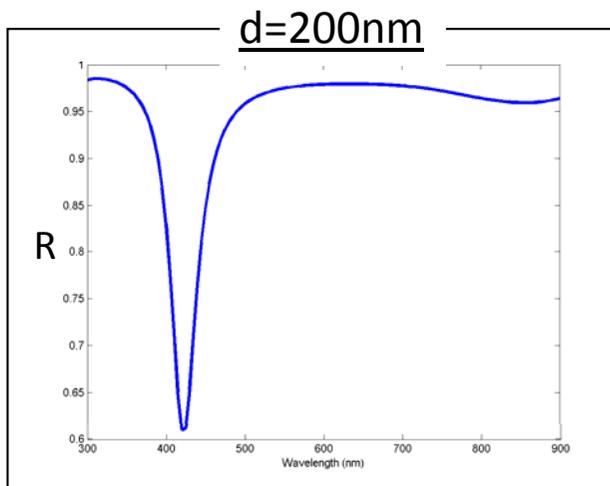
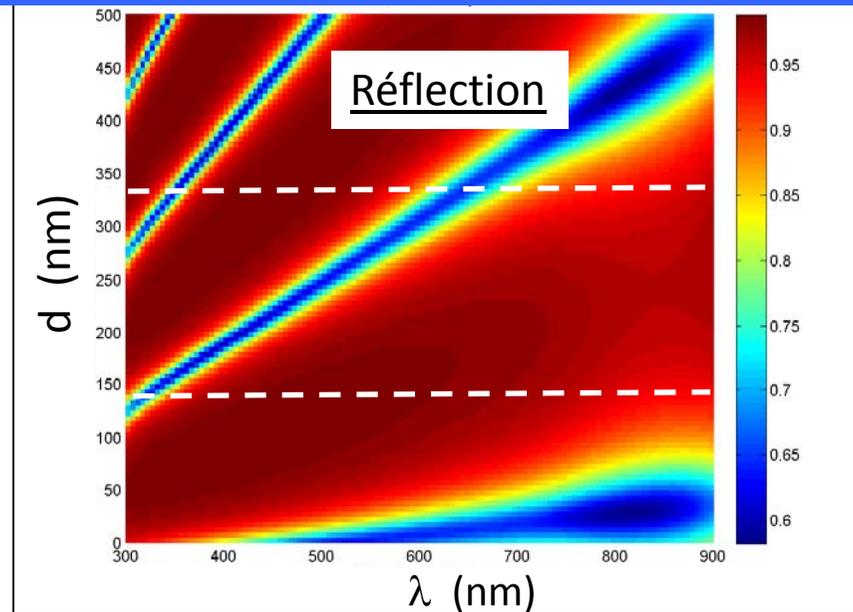
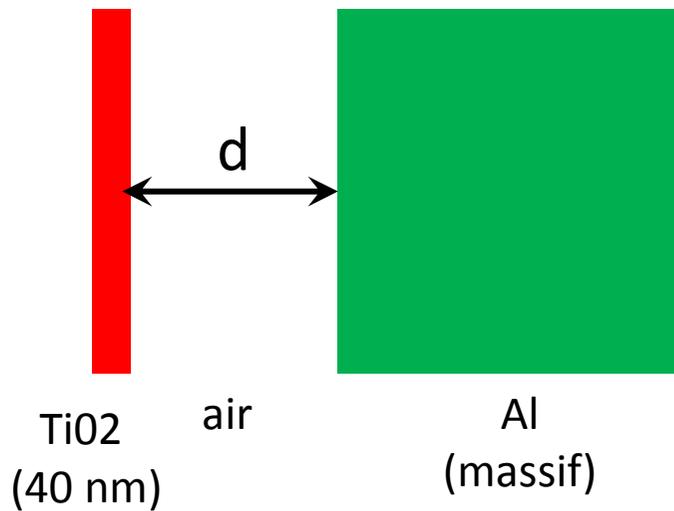
- Un système interférentiel simple : l'écran de Salisbury
- Absorbeur mince à large bande dans le visible
- Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique
- Conclusions

Ecran de Salisbury



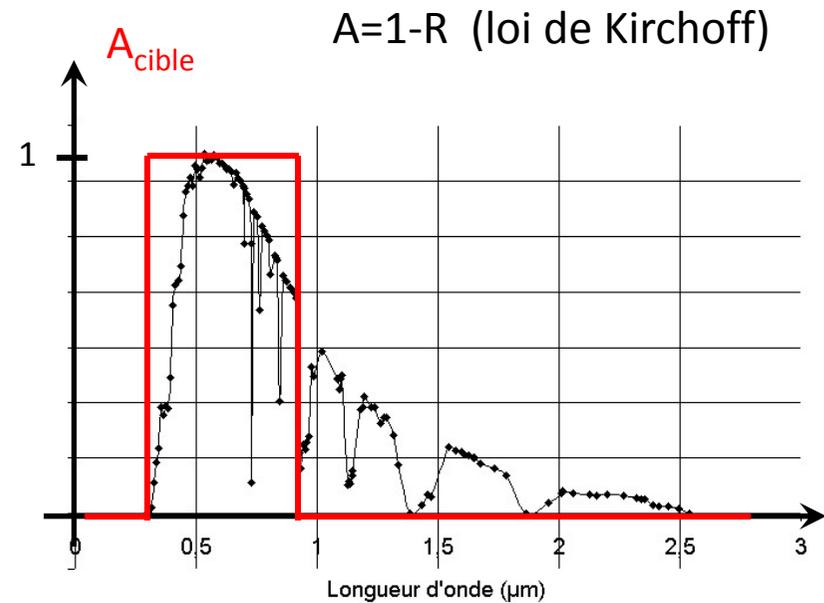
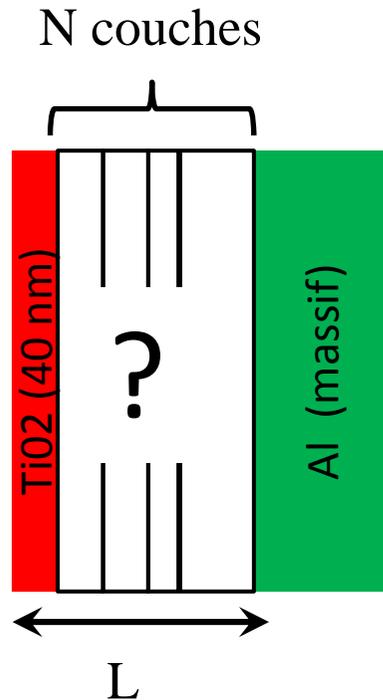
Winfield Salisbury 1952

Ecran de Salisbury



Absorption multispectrale → Large épaisseur

Absorbeur mince large bande dans le visible



Combinaison de matériaux :

- TiO₂
- Aluminium
- Molybdène
- MgO

Epaisseur totale :

- $L \leq L_{\text{Salisbury}}$

Absorbeur mince large bande dans le visible

Entrée : cible

$$A_{cible}(\lambda)$$

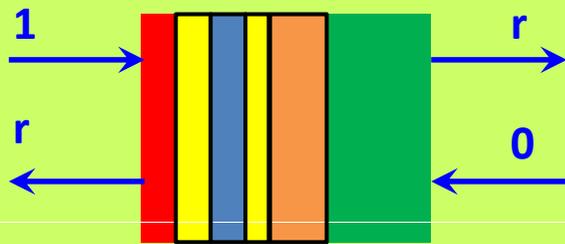


Trouver la structure telle que :

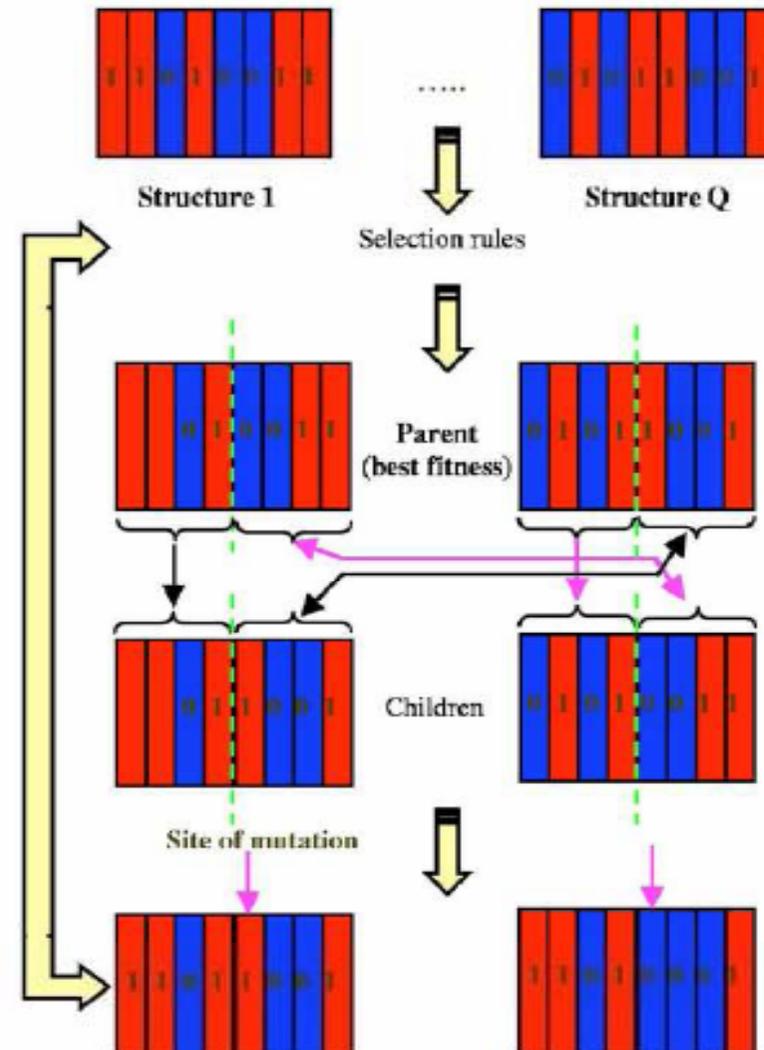
$$\int_0^{\infty} [A(\lambda) - A_{cible}(\lambda)]^2 \rightarrow \min$$



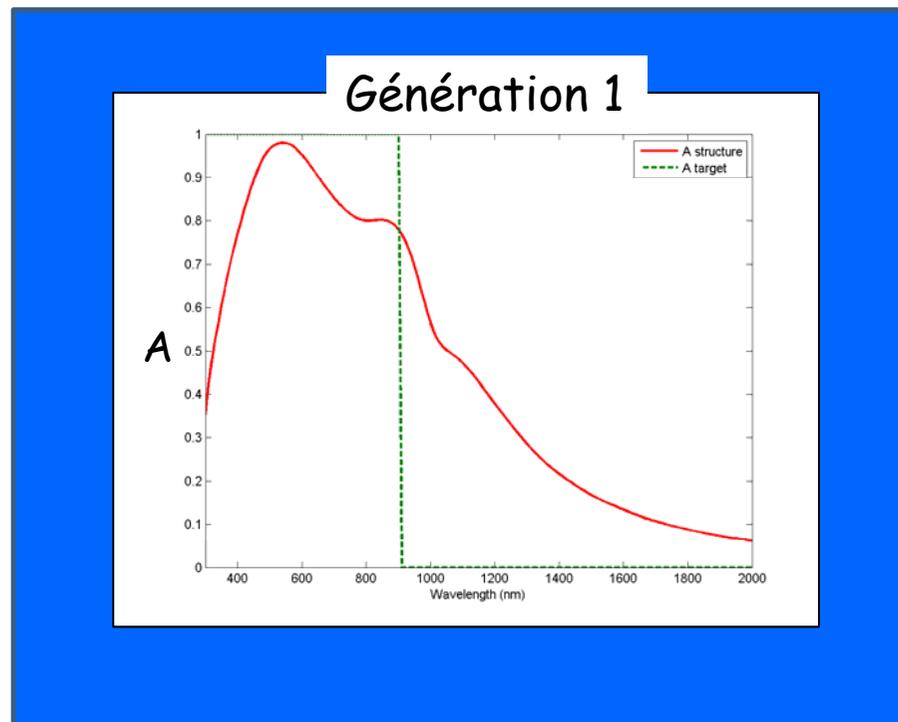
Sortie : structure optimale



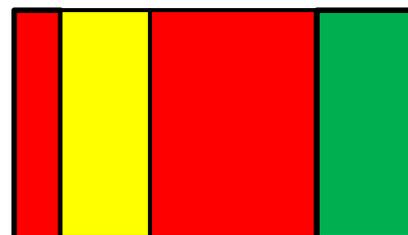
Algorithme génétique :



Absorbeur mince large bande dans le visible

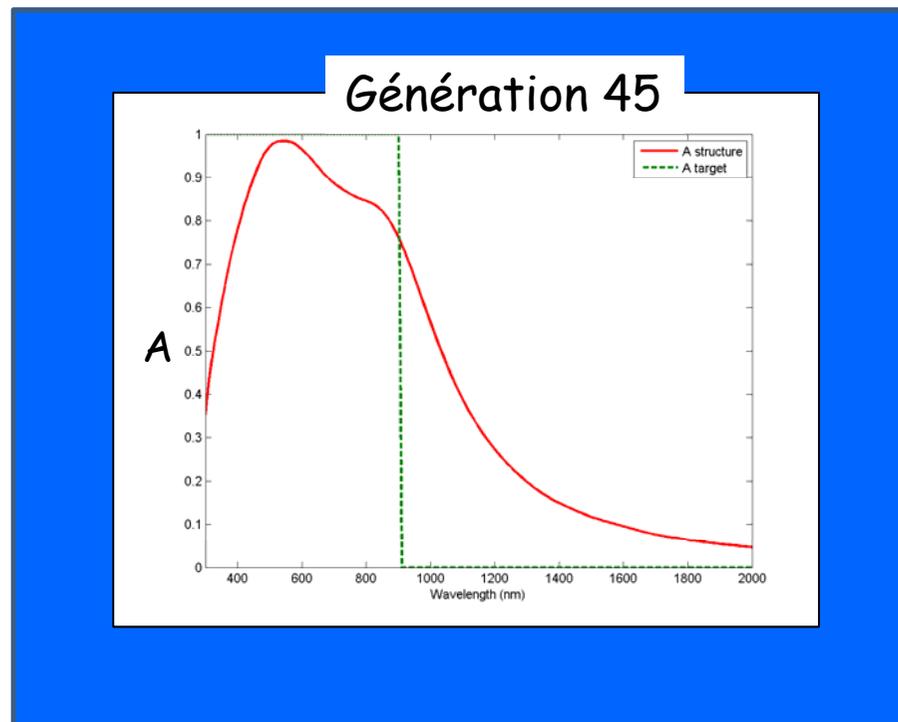


- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



100 nm

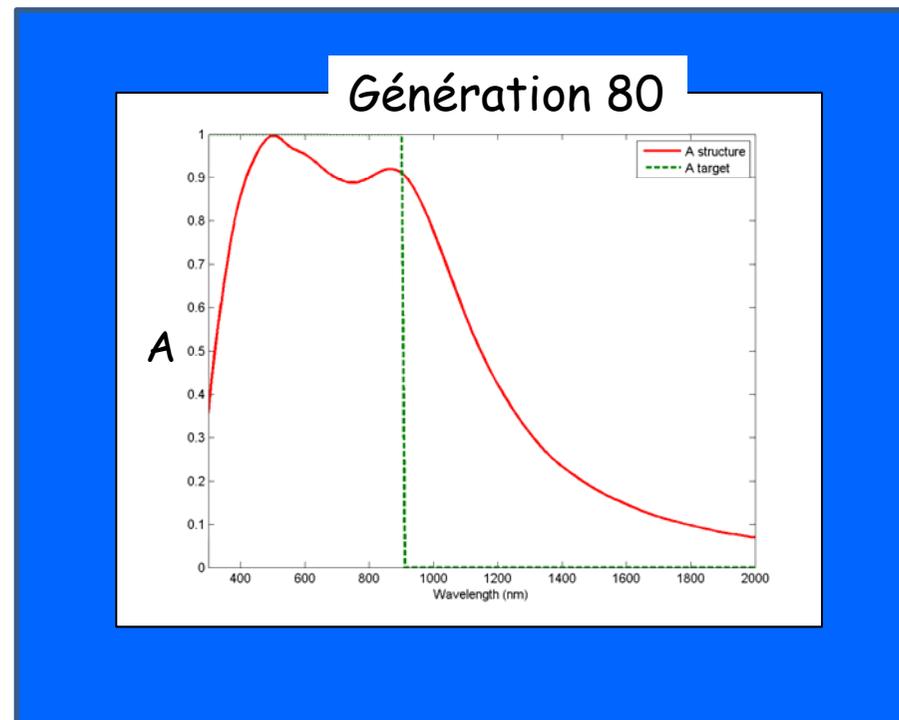
Absorbeur mince large bande dans le visible



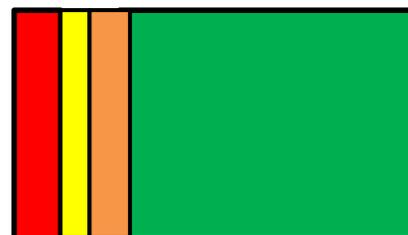
- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



Absorbeur mince large bande dans le visible

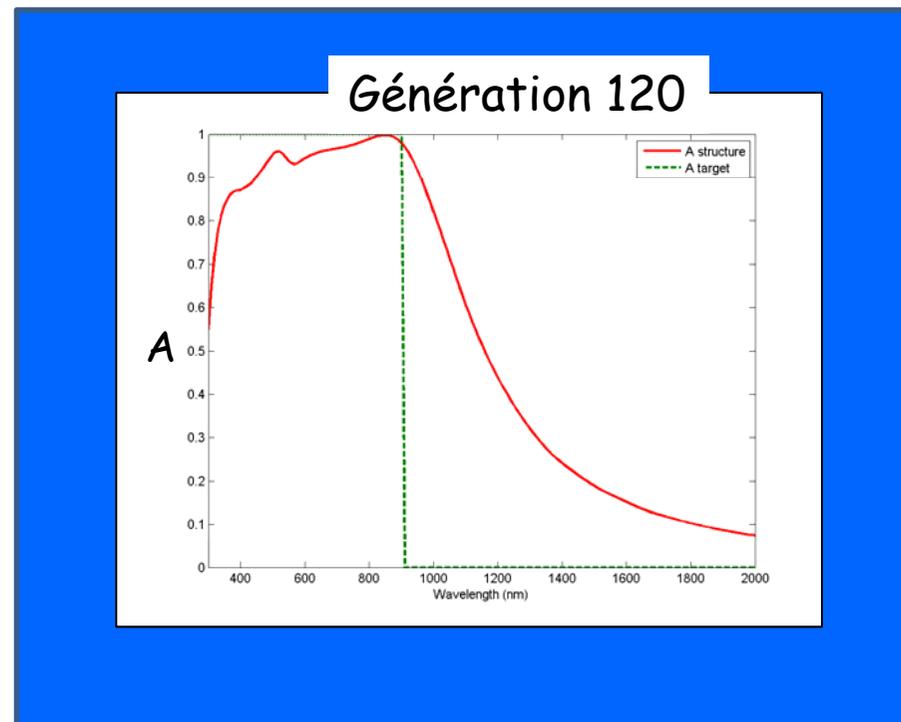


-  TiO₂
-  Mo
-  Al
-  MgO

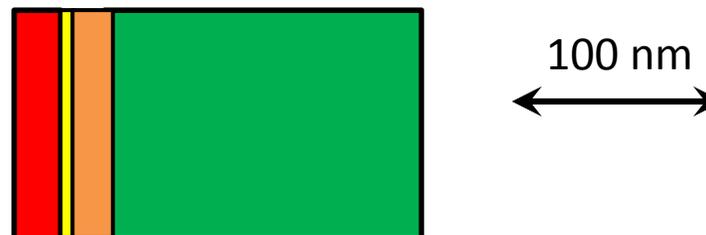


100 nm
↔

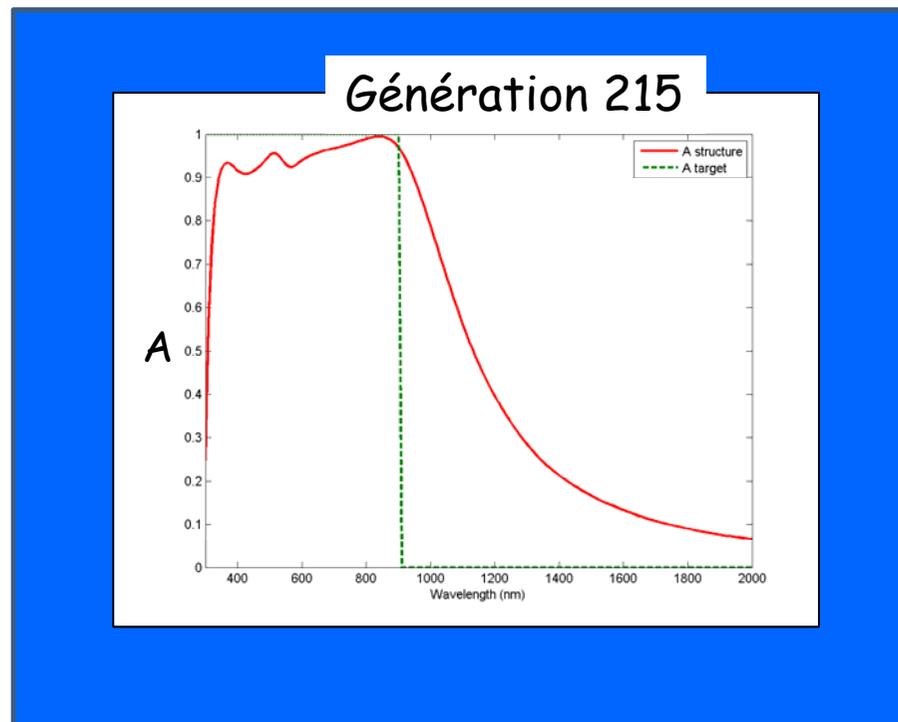
Absorbeur mince large bande dans le visible



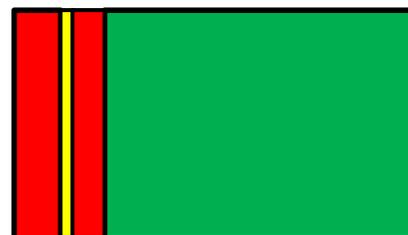
- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



Absorbeur mince large bande dans le visible

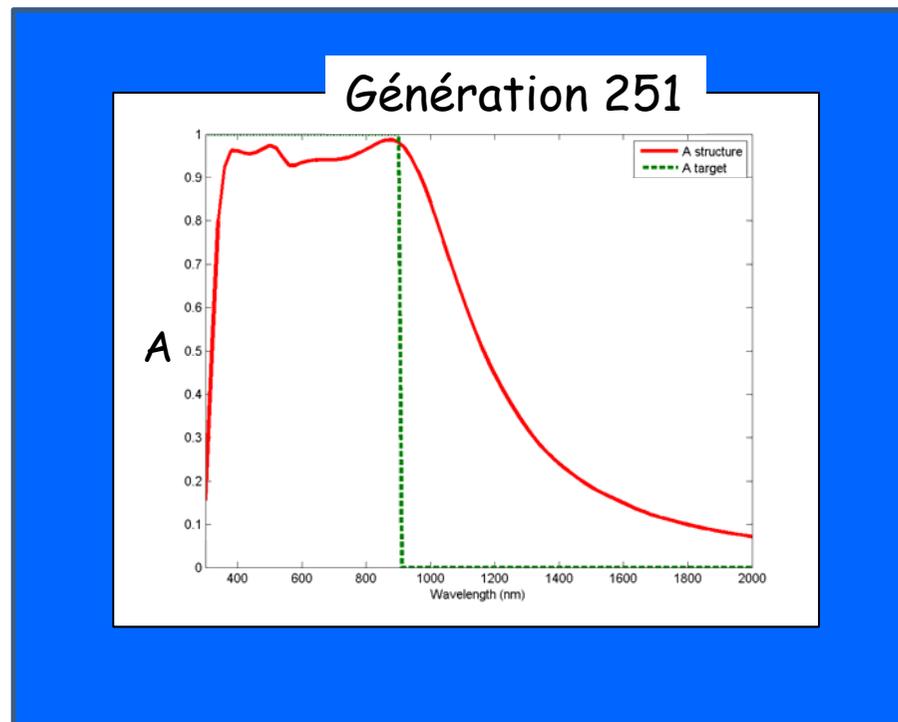


-  TiO₂
-  Mo
-  Al
-  MgO

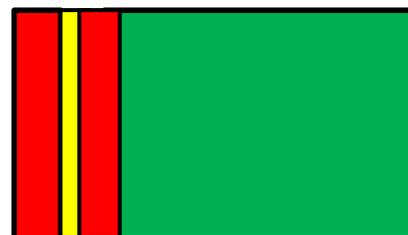


100 nm

Absorbeur mince large bande dans le visible

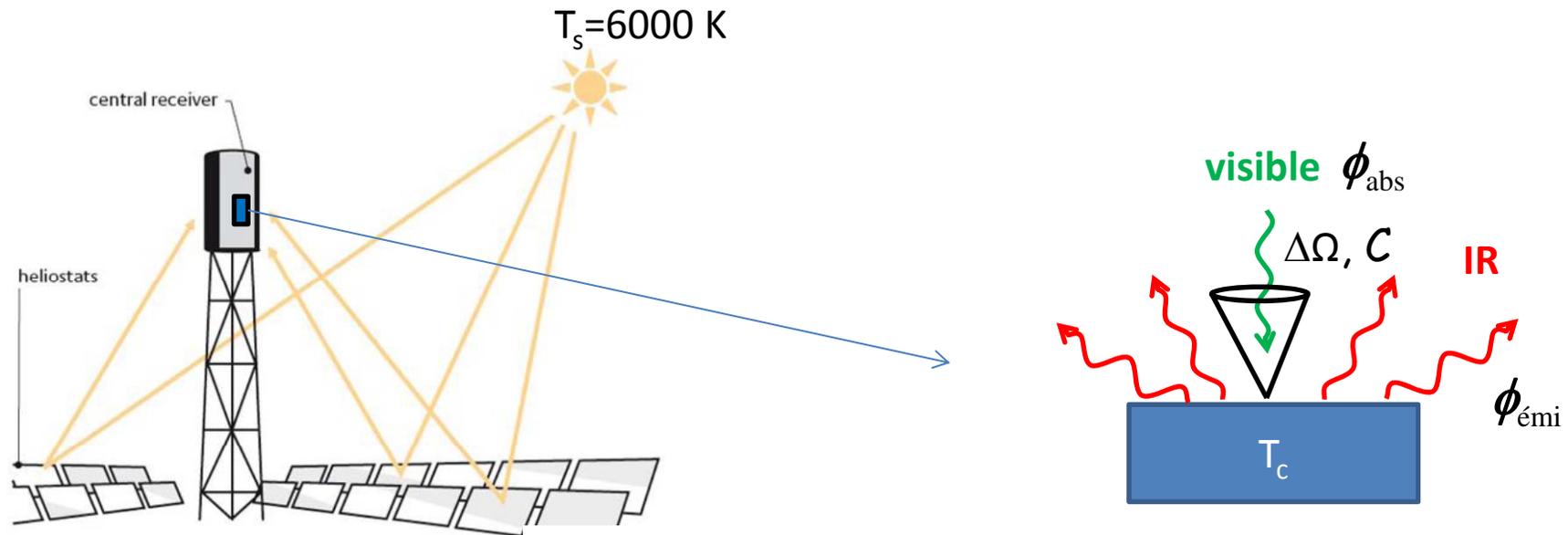


- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



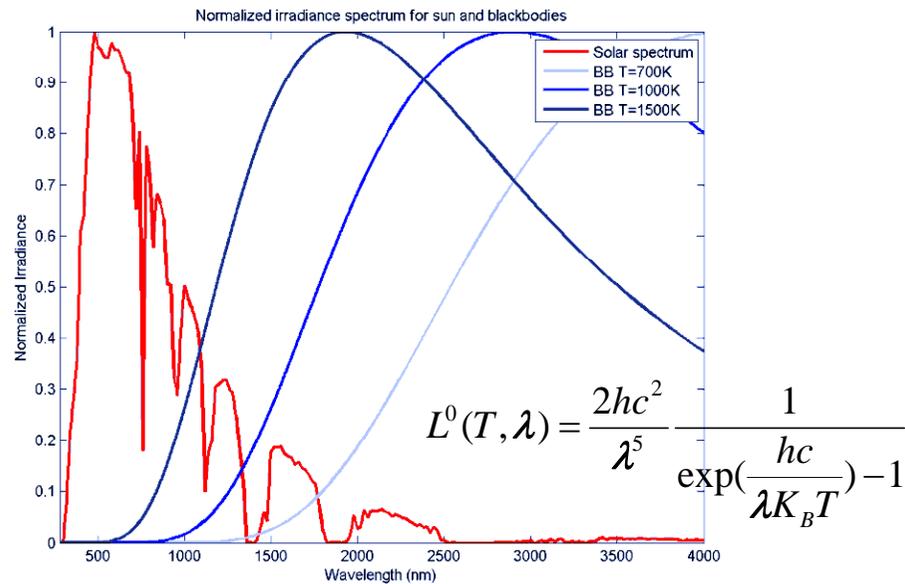
100 nm

Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique



Loi de déplacement de Wien:

$$\lambda_{\text{Wien}} (\mu\text{m}) = \frac{2898}{T(\text{K})}$$



Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

$$\phi_{\text{abs}} = C \cdot \Delta\Omega \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda, \theta = 0) L^0(T_s, \lambda) d\lambda \quad \phi_{\text{émi}} = 2\pi \int_0^{\infty} \int_0^{\pi/2} \varepsilon(\lambda, \theta) \sin(2\theta) L^0(T_c, \lambda) d\theta d\lambda$$

Trouver la structure telle que :

$$\phi_{\text{abs}} \rightarrow \text{max et } \phi_{\text{émi}} \rightarrow \text{min}$$

Combinaison de matériaux :

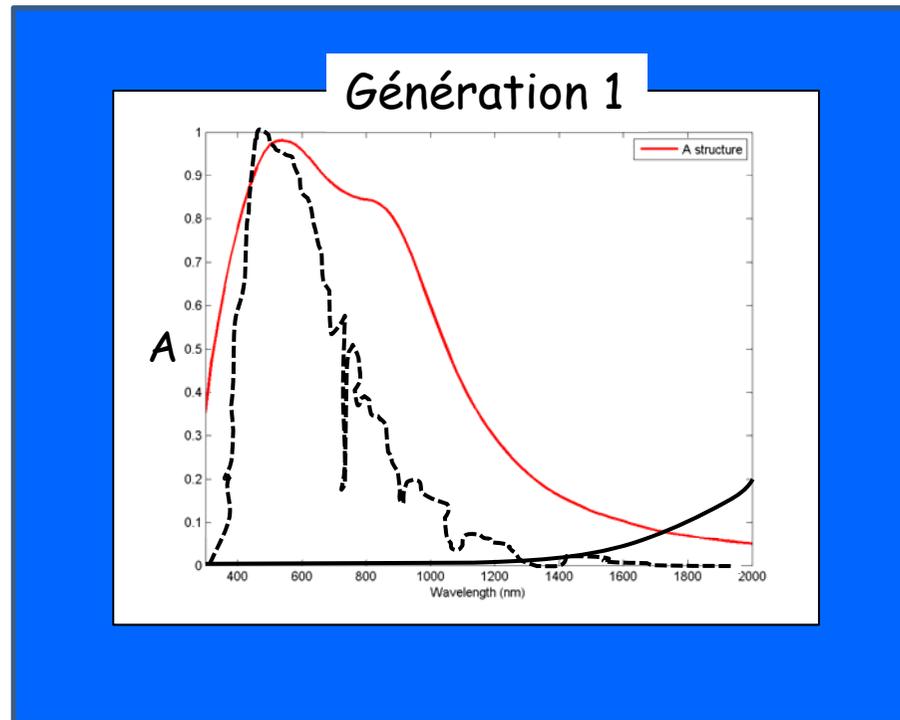
- TiO₂
- Aluminium
- Molybdène
- MgO

avec

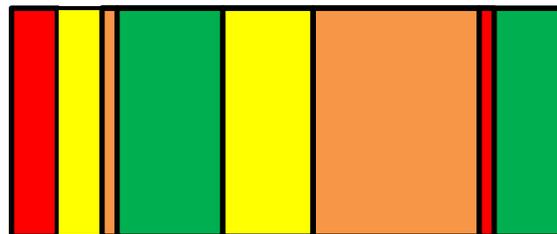
$$T_c = 700 \text{ K}, C=100, \Delta\Omega=6.10^{-5} \text{ sr}$$

Nombre de strates < 7

Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

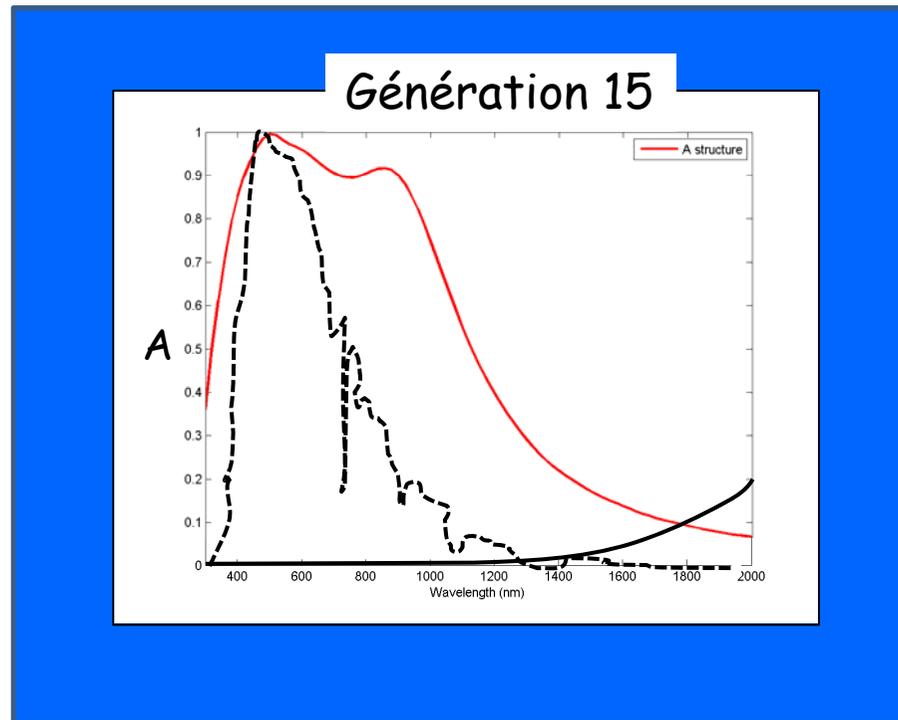


- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO

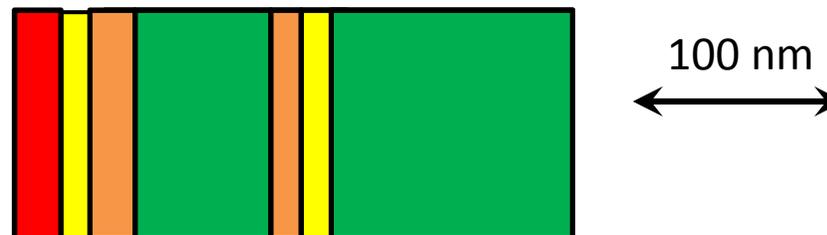


100 nm

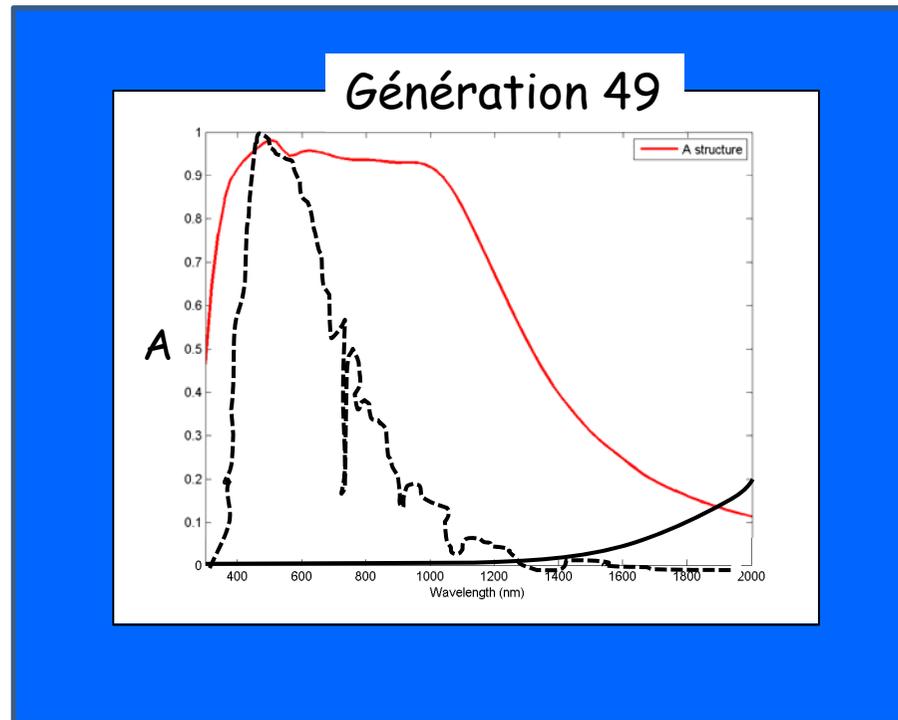
Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique



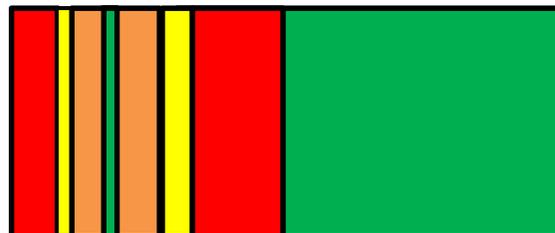
- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

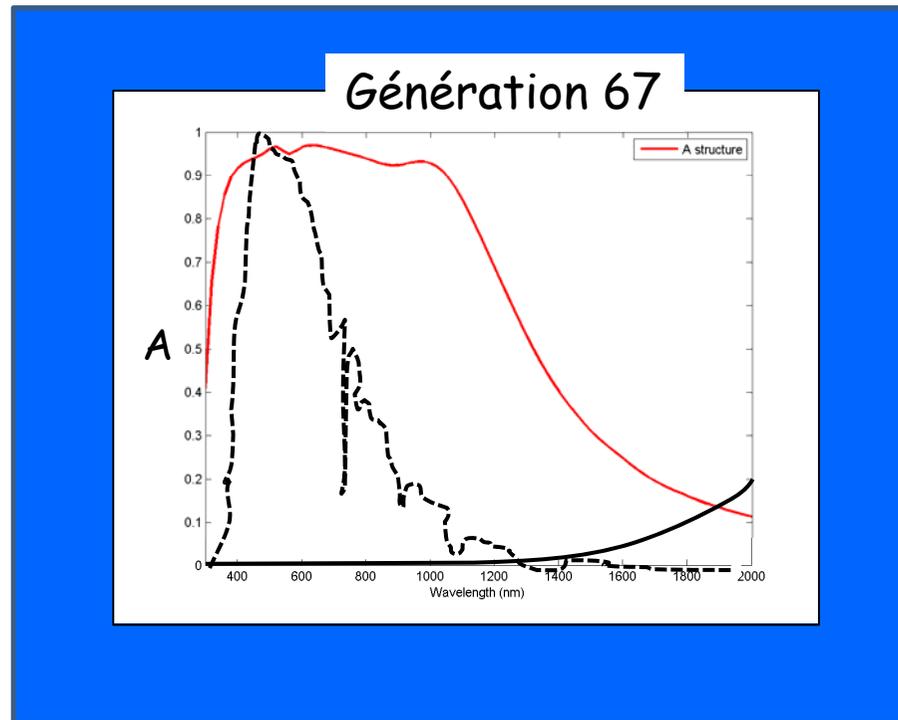


- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



100 nm

Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

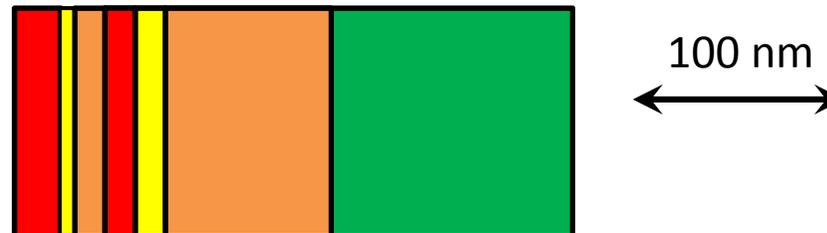
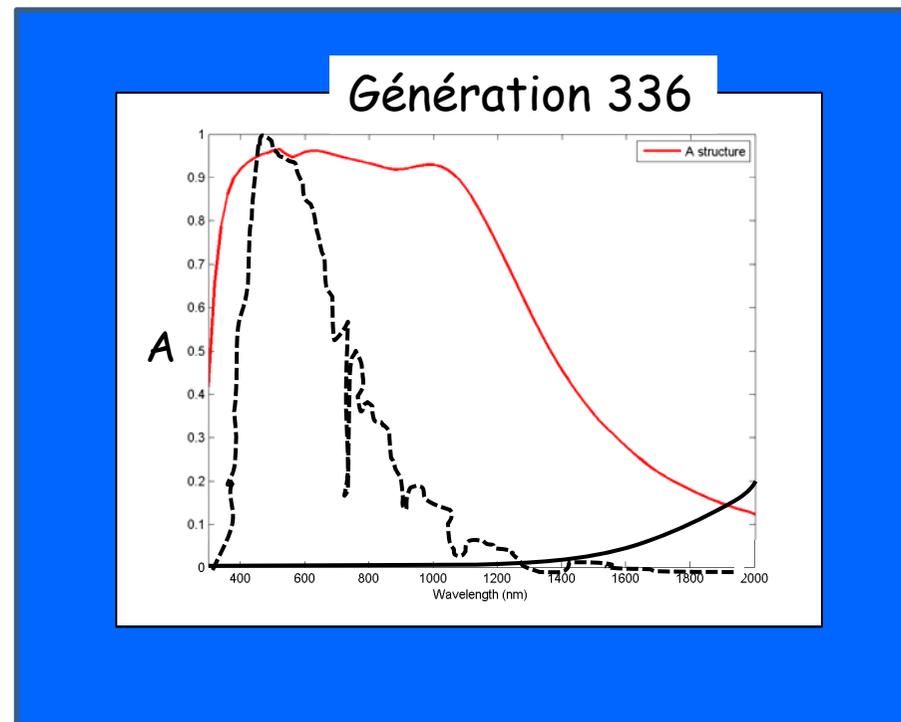


- TiO₂
- Mo
- Al
- MgO



Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

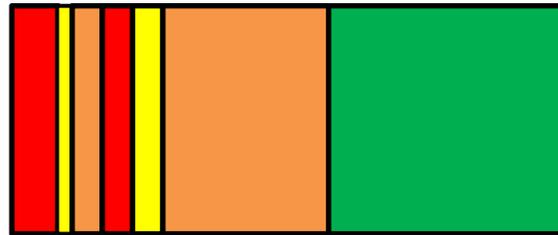
| | |
|------------------|--------|
| TiO ₂ | 40 nm |
| Mo | 11 nm |
| MgO | 22 nm |
| TiO ₂ | 21 nm |
| Mo | 27 nm |
| MgO | 121 nm |
| Al | |



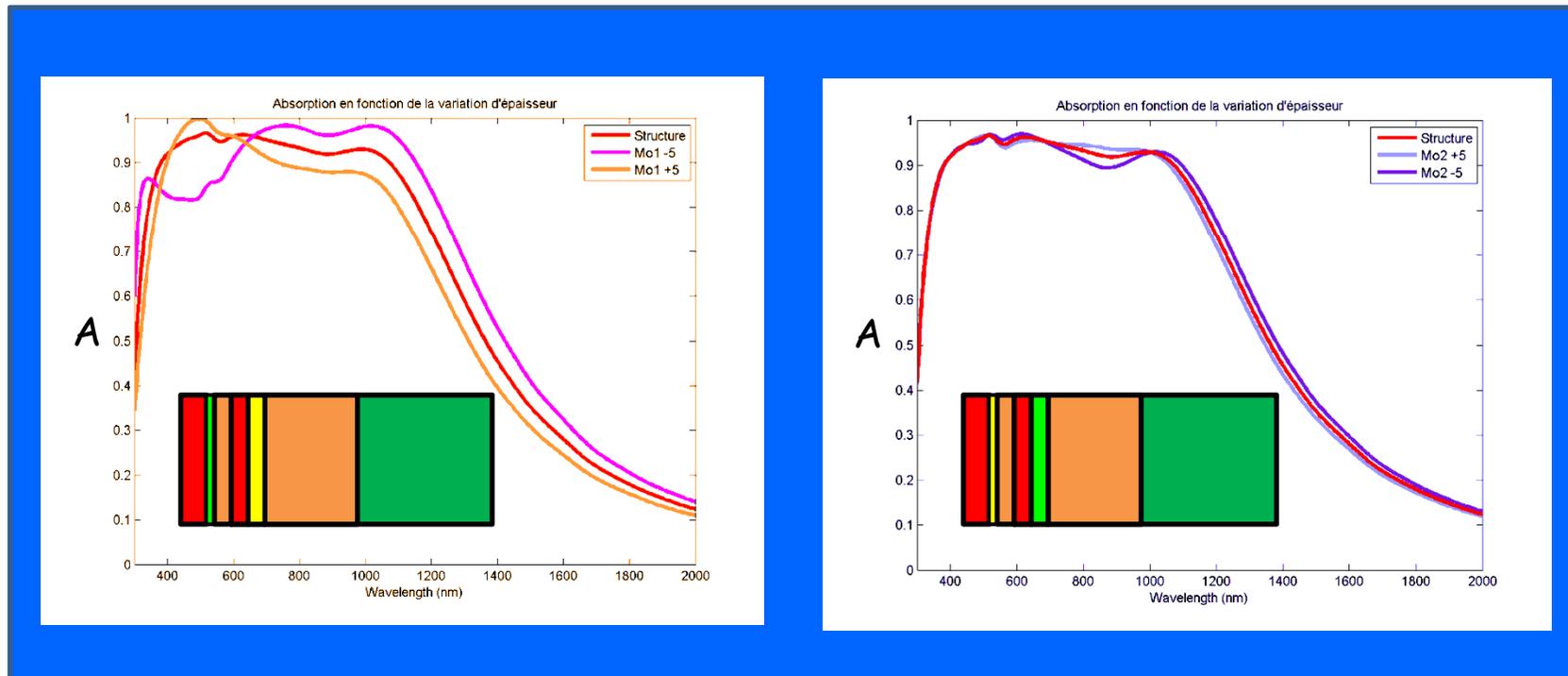
Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

Sensibilité à l'épaisseur des couches de Mo:

-  TiO₂
-  Mo
-  Al
-  MgO



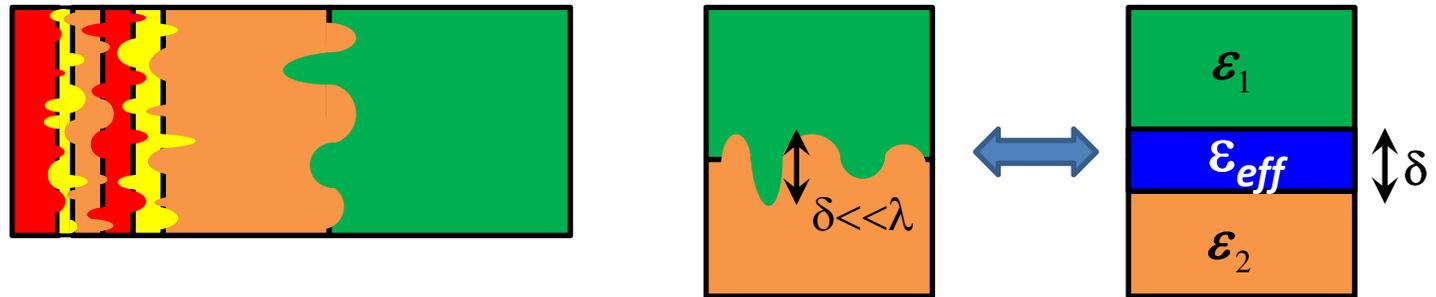
Structure optimale



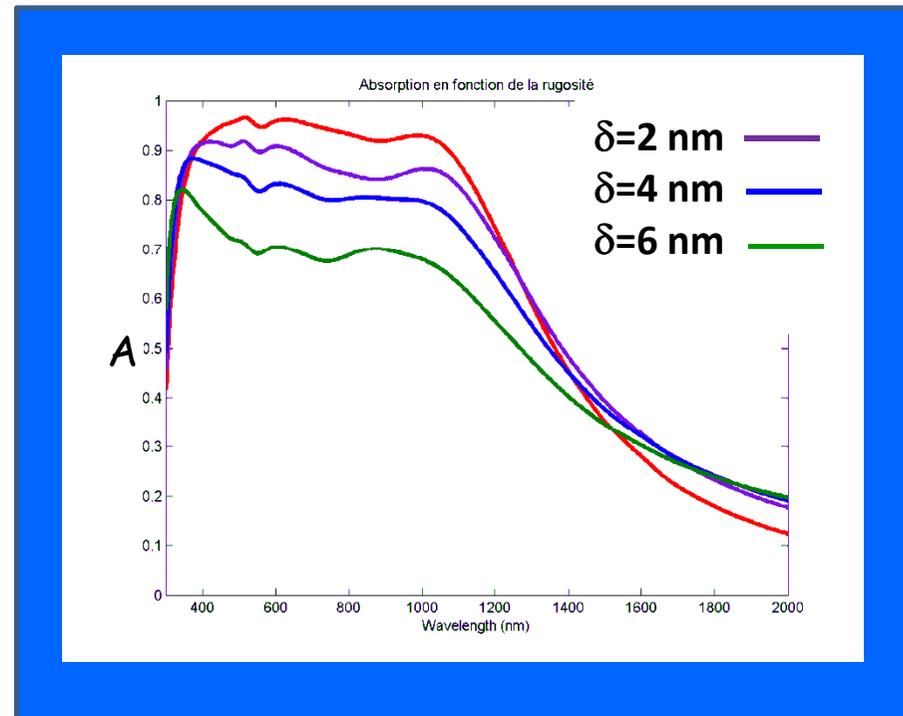
Absorbeur sélectif pour le solaire thermodynamique

Rugosité de surface:

-  TiO2
-  Mo
-  Al
-  MgO



$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{2}(\epsilon_1 + \epsilon_2)$$



Conclusions

- Les revêtements plans aperiodiques nanostructurées sont :
 - très performants pour contrôler l'absorption et l'émission de matériaux du visible à l'IR
 - sensibles aux rugosités de surface des strates élémentaires
- La minimisation des pertes IR permet d'envisager des régimes de fonctionnement à hautes températures ($T > 1000\text{K}$)

Verrous:

- Dépendance en température des propriétés optiques
- Propriétés optiques à nanoéchelle
- Physico chimie de l'interface (à haute température)